

PROJETO DE BANCADA DE ENSAIOS PARA POWERTRAIN E FREIOS DE VEÍCULO BAJA DA EQUIPE CAJA BAJA

FELIPE CARVALHO DA SILVA¹, GEOVANI SANTOS BORGES² e EDLEUSOM SARAIVA DA SILVA³

¹Discente. em Eng de controle e automação, IFPB, Cajazeiras-PB, carvalho.felipe@academico.ifpb.edu.br;

²Discente, em Eng de controle e automação IFPB, Cajazeiras-PB, geovani.santos@academico.ifpb.edu.br;

³Me. em Engenharia mecânica, Prof., IFPB, Cajazeiras-PB, edleusom.silva@ifpb.edu.br;

RESUMO: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada experimental voltada à validação dos sistemas de powertrain e freios de um veículo off-road do tipo Baja SAE. O projeto visa possibilitar a realização de ensaios estáticos e dinâmicos dos principais componentes mecânicos do veículo, como motor, transmissão CVT, caixa de redução, disco e pinça de freio, simulando condições reais de funcionamento em ambiente controlado. A estrutura da bancada foi modelada em software CAD e submetida a análises por elementos finitos (FEA), considerando esforços combinados oriundos da operação dos sistemas integrados. Os resultados demonstraram que a bancada projetada apresenta resistência e rigidez adequadas para os ensaios propostos, sendo uma ferramenta eficiente para apoio à validação experimental dos sistemas desenvolvidos pela equipe Caja Baja.

PALAVRAS-CHAVE: bancada de testes, Baja SAE, powertrain, sistema de freios, simulação estrutural, validação experimental.

TEST BENCH PROJECT FOR THE POWERTRAIN AND BRAKING SYSTEM OF THE CAJA BAJA TEAM'S BAJA VEHICLE

ABSTRACT: This work presents the development of an experimental test bench aimed at the validation of the powertrain and braking systems of an off-road Baja SAE vehicle. The project enables static and dynamic testing of the vehicle's main mechanical components, such as the engine, CVT transmission, reduction gearbox, brake disc, and caliper, by simulating real operating conditions in a controlled environment. The bench structure was modeled using CAD software and subjected to finite element analysis (FEA), considering combined loads generated by the operation of the integrated systems. The results demonstrated that the designed bench offers adequate strength and rigidity for the proposed tests, serving as an effective tool to support the experimental validation of the systems developed by the Caja Baja team.

KEYWORDS: test bench, Baja SAE, powertrain, braking system, structural simulation, experimental validation.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de veículos off-road para competições estudantis, como o Baja SAE, exige a análise e validação rigorosa dos seus sistemas mecânicos, especialmente os de transmissão e frenagem. Esses subsistemas são fundamentais para o desempenho, segurança e confiabilidade do veículo em ambientes adversos, onde há a ocorrência de esforços variáveis, terrenos irregulares e condições operacionais extremas (GURGEL; MARTINS, 2019).

O powertrain, composto pelo motor, sistema de transmissão e caixa de redução, é responsável por transmitir potência às rodas, e deve ser projetado para suportar cargas dinâmicas significativas sem comprometer a eficiência energética e o controle do veículo (FARIA et al., 2018). Por sua vez, o sistema de freios é essencial para garantir a desaceleração controlada e a segurança dos ocupantes, devendo ser testado quanto à sua eficácia e resistência térmica, especialmente em aplicações off-road (FERNANDES; LIMA, 2020).

Nesse contexto, a construção de uma bancada de testes representa uma estratégia eficaz para validar experimentalmente o comportamento dos componentes do veículo antes da sua aplicação final.

Ao simular condições reais de operação em ambiente controlado, é possível identificar falhas, otimizar parâmetros de projeto e garantir o desempenho ideal dos sistemas (OLIVEIRA et al., 2021).

Este trabalho tem como objetivo apresentar o projeto de uma bancada experimental voltada para a realização de testes dos subsistemas de powertrain e freios do veículo Baja SAE desenvolvido pela equipe Caja Baja. A estrutura da bancada foi projetada para suportar os esforços gerados durante os testes e permitir medições de desempenho em condições próximas às reais de uso.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento da bancada de testes para os subsistemas de powertrain e freios do veículo Baja SAE seguiu uma metodologia baseada em etapas sequenciais de engenharia, com foco na estruturação lógica do projeto, validação virtual e viabilidade construtiva. A abordagem metodológica foi dividida em quatro fases principais: planejamento do projeto, modelagem CAD, definição de parâmetros técnicos e análises estruturais e funcionais.

1. Planejamento do Projeto

A fase inicial compreendeu o levantamento das necessidades da equipe em relação à bancada de testes, considerando os requisitos funcionais, como: fixação dos componentes, acesso a medições, modularidade da estrutura e resistência aos esforços dinâmicos gerados pelos sistemas em funcionamento.

Foram definidos os objetivos específicos da bancada, com base em bibliografia sobre metodologias de projeto de engenharia (SANTOS; MARTINS, 2021), priorizando a segurança, facilidade de montagem, durabilidade e compatibilidade com os sistemas do veículo. Nessa etapa, também foi elaborado um cronograma de desenvolvimento técnico com subdivisões de tarefas.

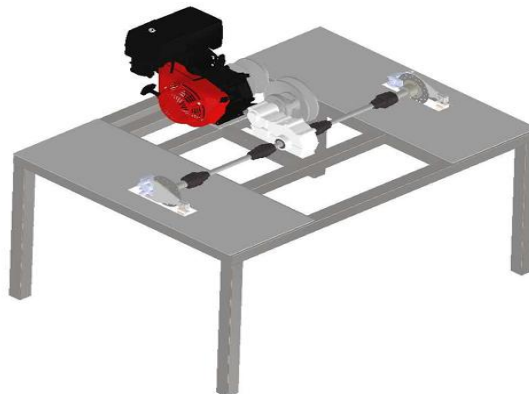
Segundo Rozenfeld et al. (2006), o sucesso de projetos mecânicos depende de uma fase de planejamento detalhada, em que se compreendem os requisitos do produto, a função desejada e os critérios de avaliação de desempenho.

2. Desenvolvimento do Projeto CAD

Com base nas dimensões reais dos componentes do Baja da equipe Caja Baja, iniciou-se o desenvolvimento da modelagem tridimensional da bancada em ambiente CAD (Computer-Aided Design), utilizando o software Autodesk Inventor. Essa modelagem incluiu:

- Estrutura principal da bancada (base, apoios e reforços);
- Suportes para motor, CVT, caixa de redução e conjunto de freio;
- Interfaces para sensores e instrumentação futura.

Figura 1 – Projeto CAD



Durante essa fase, foram considerados os princípios de projeto para estruturas submetidas a cargas dinâmicas, conforme estabelecido por Shigley et al. (2015), priorizando geometria funcional, pontos de apoio distribuídos e perfis metálicos retangulares (metalon) como material principal da estrutura.

3. Parâmetros Técnicos e Medições

A fim de orientar as simulações, foram definidos parâmetros técnicos essenciais, como a massa dos componentes fixados — motor GX390 (38 kg), CVT (6 kg), caixa de redução (13 kg) e sistema de freio com disco e pinça (5 kg). Também foram determinadas a localização dos centros de massa dos conjuntos, os pontos de aplicação de forças e torques equivalentes ao funcionamento real do sistema, as forças reacionais nos apoios e as condições de contorno para fixação ao solo. Esses parâmetros foram fundamentais para a realização das análises computacionais subseqüentes.

4. Análise Estrutural e Verificação

Após a finalização do modelo CAD, foi realizado o processo de análise estrutural por meio de simulações em elementos finitos (FEA – Finite Element Analysis), com o objetivo de verificar:

- Tensões máximas e distribuição de esforços;
- Deformações por flexão nos perfis metálicos;
- Fator de segurança em operação estática e durante vibração;
- Validação do posicionamento dos apoios e reforços estruturais.

As simulações seguiram recomendações técnicas conforme Norton (2020), que destaca a importância de validar projetos mecânicos em ambiente virtual antes da execução física.

A partir dos resultados das análises, foram feitas otimizações no modelo estrutural, reduzindo concentrações de tensão e ajustando a geometria para garantir melhor desempenho estrutural e maior vida útil da bancada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na modelagem 3D finalizada da bancada e nos parâmetros previamente definidos, foram realizadas simulações computacionais utilizando o método dos elementos finitos (FEA), com o intuito de verificar a resistência e rigidez da estrutura frente aos carregamentos impostos pelos componentes do sistema de transmissão (motor, CVT, caixa de redução) e do sistema de freios.

As análises foram divididas em duas categorias principais: tensão equivalente e deformação por flexão vertical, considerando o pior cenário de carga estática combinada com os esforços gerados durante o funcionamento do powertrain e acionamento do freio.

A seguir, apresenta-se a tabela com os principais valores obtidos nas simulações:

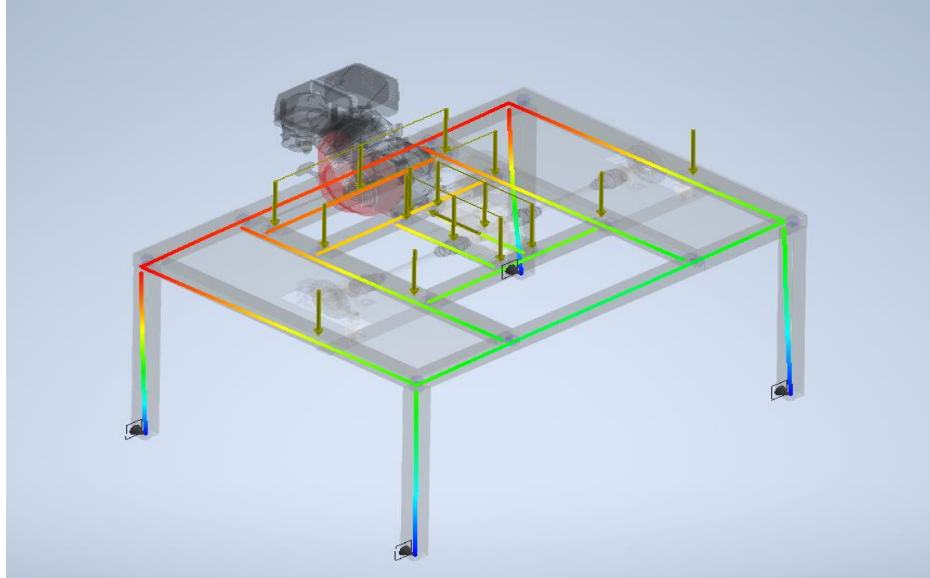
Tabela 1 – Resultados de tensão máxima e deslocamento vertical

Componente Carregado	Tensão Máxima (MPa)	Deslocamento Máx. (mm)	Fator de Segurança
Motor e CVT	150	0,30	1,8
Caixa de Redução	120	0,35	2,0
Sistema de Freios	80	0,20	2,5

Os valores de tensão encontrados nas regiões críticas da estrutura (como junções e suportes de carga concentrada) foram comparados ao limite de escoamento do material escolhido (aço carbono SAE 1020), que possui limite de escoamento médio de aproximadamente 350 MPa (CAMPOS; ARAÚJO, 2017). Observou-se que, em todos os casos, os valores obtidos se mantiveram dentro de um fator de segurança mínimo de 2, conforme recomendado por Shigley et al. (2015) para estruturas submetidas a cargas variáveis.

A simulação de deformação revelou pequenos deslocamentos verticais nas extremidades livres da estrutura, indicando boa rigidez global. A maior deformação ocorreu na região central do perfil de apoio do motor, devido à concentração de massa e torque nesse ponto.

Figura 2 – Deformação total da estrutura



De forma geral, os resultados das simulações confirmam que o projeto da bancada atende aos requisitos de resistência e funcionalidade, sendo adequada para os testes reais propostos. Com isso, valida-se a viabilidade construtiva e operacional da bancada como ferramenta de apoio à equipe Caja Baja nos ensaios experimentais dos sistemas mecânicos do veículo.

CONCLUSÃO

A bancada experimental desenvolvida atendeu aos objetivos para validar os sistemas de powertrain e freios do veículo Baja SAE da equipe Caja Baja. As simulações comprovaram que a estrutura é resistente e rígida o suficiente para os testes propostos. O projeto permite avaliações estáticas e dinâmicas dos componentes, sendo uma ferramenta eficiente para identificação de falhas e otimização do desempenho. Recomenda-se, em trabalhos futuros, a instrumentação da bancada e a realização de testes práticos para aprofundar a análise dos sistemas em operação.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, M. L.; ARAÚJO, F. R. Propriedades mecânicas dos aços mais utilizados na indústria brasileira. *Revista Materiais e Tecnologia*, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 120–126, 2017.
- FARIA, R. B. de; SANTOS, D. M.; PEREIRA, L. M. Estudo e desenvolvimento de sistemas de transmissão para veículos off-road do tipo Baja SAE. *Revista Engenharia em Foco*, v. 10, n. 1, p. 45–55, 2018.
- FERNANDES, G. A.; LIMA, J. P. Avaliação do desempenho de sistemas de freio em protótipos off-road. *Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM)*, Natal-RN, 2020.
- GURGEL, J. R.; MARTINS, F. C. Análise estrutural de componentes do Baja SAE por meio de simulação computacional. *Revista de Engenharia e Tecnologia Aplicada*, v. 7, n. 2, p. 78–89, 2019.
- NORTON, R. L. Projeto de engenharia mecânica. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2020.
- OLIVEIRA, T. L. de; ROCHA, M. A.; SILVA, H. R. Bancadas de teste como ferramentas de validação para projetos acadêmicos de engenharia. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção (ENEGEP)*, São Paulo-SP, 2021.

ROZENFELD, H. et al. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
SANTOS, D. L.; MARTINS, P. R. Metodologia de projeto aplicada à engenharia mecânica. 3. ed. Belo Horizonte: Editora Técnica, 2021.
SHIGLEY, J. E. et al. Projeto de engenharia mecânica. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. (*Aparecia duplicada — mantida apenas uma vez.*)